



УПОРЕЂИВАЊЕ ЕФИКАСНОСТИ RTK И РЕЛАТИВНЕ СТАТИЧКЕ МЕТОДЕ У ПОСТУПКУ ФОРМИРАЊА GNSS МРЕЖЕ

COMPARISON OF RTK EFFICIENCY AND RELATIVE STATIC METHOD IN THE PROCESS OF GNSS NETWORK FORMATION

Владимир Петровић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГЕОДЕЗИЈА И ГЕОИНФОРМАТИКА

Кратак садржај – У раду је описан принцип функционисања GNSS система и њихове улоге у геодетским референтним мрежама. Практично смо приказали различите степене тачности релативне статичке методе и RTK методе у формирању геодетске мреже.

Кључне речи: GNSS, позиционирање, референтне мреже, координатни систем, геодетски датум.

Abstract – The paper describes the operating principles of GNSS systems and their role in geodetic reference networks. We have practically demonstrated different levels of accuracy of the relative static method and the RTK method in the formation of the geodetic network.

Keywords: GNSS, positioning, reference grids, coordinate systems, geodetic datum.

1. УВОД

Овај рад се бави истраживањем релативног GNSS позиционирања и улогом GNSS технологије у геодетским референтним мрежама.

У раду ће бити детаљно објашњени основни принципи сателитског позиционирања као и преглед постојећих GNSS система. Даћемо приказ основних метода позиционирања са акцентом на релативно позиционирање.

Истраживаћемо изворе грешака GNSS мерења, разлоге због којих настају, методе елиминације и начине моделовања резидуалних утицаја. Показаћемо принцип функционисања перманентних станица и активне геодетске референтне основе Србије.

Приказаћемо практичан пример упоређивања ефикасности релативне статичке методе и RTK (*Real Time Kinematic*) методе на примеру формирања GNSS мреже.

2. ОСНОВЕ GNSS ТЕХНОЛОГИЈЕ

Глобални навигациони сателитски систем (GNSS – Global Navigate Satellite System) састоји се од скупа сателита који се крећу по орбитама чија је приближна висина 20.000 километара.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Булатовић, ред.проф.

2.1. Историјат развоја GNSS

Прва идеја о коришћењу сателита везује се за 1945. годину када је објављено октобарско издање часописа *Wireless World*, у којем је Arthur C. Clarke (1917 – 2008) дао теоријску хипотезу о изводљивости успостављања везе са сателитом који је био лансиран у једну геостационарну орбиту, при чему је приложио објашњење о могућности сталне земаљске комуникације са сателитом.

Прве државе које су понудиле конструктивно решење за лансирање сателита биле су Сједињене Америчке државе и Савез Совјетских Социјалистичких Република.

2.2. Основни принципи сателитске навигације

Основна идеја одређивања положаја тачака на Земљи на основу мерења растојања од сателита до пријемника заснива се на принципима геометрије односно методама трилатерације. Када GNSS пријемник прими сигнал, одмах одређује време које је протекло од тренутка емитовања до тренутка пријема сигнала. Растојање од сателита до пријемника одређује се на основу познате брзине простирања радио таласа и претходно одређеног времена пропагације сигнала. Сигнали са сателита шаљу информацију о сопственом положају али и о положају осталих сателита, односно ефемериде сателита у космосу [1].

2.3. Преглед постојећих GNSS система

У овом тренутку постоје четири глобална навигациона сателитска система, и то:

- GPS (Global Positioning System – GPS), развијен од стране Америке,
- GLONASS (Глобална навигациона спутникова система), развијен од стране Русије,
- BeiDou, развијен од стране Кине,
- Galileo, развијен од стране Европске Уније.

2.4 Примена глобалних навигационих сателитских система

GNSS системи су развијани са циљем да се користе углавном у војне сврхе, делимично у цивилне. Међутим, корисници данас имају могућност да користе више различитих сателитских система, чија је намена вишеструка: персонална навигација, ваздухопловство, поморски саобраћај, геодезија, рударство, пољопривреда, итд.

3. GNSS-ОСНОВНИ КОНЦЕПТИ ПОЗИЦИОНИРАЊА

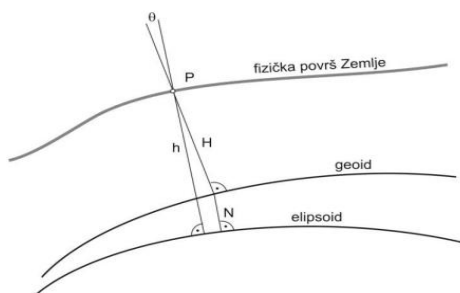
3.1 Координатни системи

Геодезија је, између осталог, наука која се бави одређивањем облика и површине Земље и одређивањем положаја тачака на или изнад површине Земље. Положај неке тачке у тродимензионалном простору одређен је јединственом тројком реалних бројева који се називају њеним координатама. Координатни системи који су од значаја за GNSS позиционирање су: инерцијални референтни систем, терестрички референтни систем, глобални елипсоидни систем и временски систем [2].

3.2 Геодетски датум и појам геоида

Земљу као небеско тело можемо посматрати са два аспекта: физичког и математичког. Физички модел Земље представља геоид, еквипотенцијална површ на коју је, у свакој њеној тачки, правац силе теже управан. На слици 1 приказан је однос између три фундаменталне површи.

Геодетски датум представља скуп параметара који дефинишу координатни систем. Односи се на било коју нумеричку или геометријску вредност, или скуп таквих вредности, који се користе као основа за одређивање хоризонталних и вертикалних позиција тачака. Према томе разликујемо хоризонтални и вертикални геодетски датум [3].



Слика 1: Однос физичке површи Земље, површи геоида и елипсоида

3.2 Технологије мерења и математички модел

У GNSS позиционирању као мерене величине користе се оне величине које се изводе на основу величина које се директно мере поређењем примљеног сигнала и сигнала генерисаног у пријемнику. У једном случају се мери време за које сателитски сигнал прође растојање између фазних центара антене сателита и пријемника, а у другом случају се мери фазна разлика. На основу тога, постоје две врсте мерења у GNSS системима, и то:

- кодна мерења (pseudo ranges – кодови C/A, P), и
- фазна мерења (carrier phases - фазе носећих сигнала L1, L2)

За потпуно математичко дефинисање GNSS мерења, користимо два основна математичка модела:

- функционални модел, и
- стохастички модел.

3.4 Методе GNSS позиционирања

GNSS позиционирањем се одређује просторни положај (координате) стационарних или покретних објеката (тачака). Разликујемо три режима рада приликом одређивања координата тачака:

- статички (пријемници су непокретни за време опажања),
- кинематички (пријемници се крећу) и
- диференцијални (DGPS).

Са становишта принципа мерења, разликују се четири основне методе позиционирања:

- апсолутно (аутономно) статичко позиционирање,
- апсолутно (аутономно) кинематичко позиционирање,
- релативно статичко позиционирање и
- релативно кинематичко позиционирање.

3.4.2 Примена метода релативног позиционирања

• *Релативно статичко позиционирање* – користи се при успостављању геодетских мрежа као и у мониторингу инжењерских објеката. Ова метода даје највећу тачност (до 1 cm) и поузданост одређивања координата тачака у односу на остале методе позиционирања.

• *Релативно кинематичко позиционирање са накнадном обрадом (PPK – Post Processing Kinematic)* обавља се у циљу одређивања координата детаљних тачака. Користи се у оквиру геодетског снимања детаља, и њена примена је могућа у комплекту: база + ровер, или унутар мреже перманентних станица. Обрада података врши се након обављених теренских радова.

• *Релативно кинематичко позиционирање у реалном времену (RTK)* – има исту примену као метода релативног кинематичког позиционирања са накнадном обрадом, с тим што се у овој методи обрада података врши у реалном времену, што омогућава учачавање евентуалних грешака непосредно на терену. RTK методом могу се одредити координате детаљних тачака или вршити њихово обележавање.

• *Диференцијално позиционирање* – овај метод је један од најчешће примењиваних метода, с обзиром да је највећој популацији корисника GPS система довољна тачност позиционирања од 1 до 10 метара. У геодетском премеру овај метод се не користи због мале тачности али се примењује за потребе географских информационих система у геодезији и картографији.

4. ИЗВОРИ ГРЕШАКА У GNSS ПРЕМЕРУ

Деградација GNSS позиционирања јавља се када су мерења оптерећена различитим изворима грешака. Грешке GNSS система могу се сврстати у три главне категорије:

- грешке сателитског порекла,
- грешке пропагације сигнала,
- грешке пријемника.

4.1 Грешке сателитског порекла

Грешке сателитског порекла обухватају следеће типове грешака:

- Грешке због лоше геометрије сателита
- Грешке ефемериде
- Грешке часовника на сателиту
- Грешке теорије релативитета

4.2 Грешке пропагације сигнала

Са становништва кретања електромагнетних таласа који имају GPS фреквенције, Земљина атмосфера дели се на јоносферу и тропосферу. Ова два атмосферска слоја карактеристична су по томе што се у њима GPS сигнали различито понашају. Доминантне грешке које се јављају приликом простирања сигнала су:

- грешке јоносферског кашњења сигнала,
- грешке тропосферског кашњења сигнала,
- грешке вишеструке рефлексије.

4.3 Грешке пријемника

Грешке пријемника се деле на:

- Грешке услед шума у пријемнику
- Грешке синхронизације часовника пријемника
- Грешке ексцентритета фазног и геометријског центра

5. GNSS ТЕХНОЛОГИЈЕ У ГЕОДЕТСКИМ РЕФЕРЕНТНИМ МРЕЖАМА

5.1 Основни концепти геодетских референтних мрежа

Геодетске референтне мреже деле се на три основна концепта:

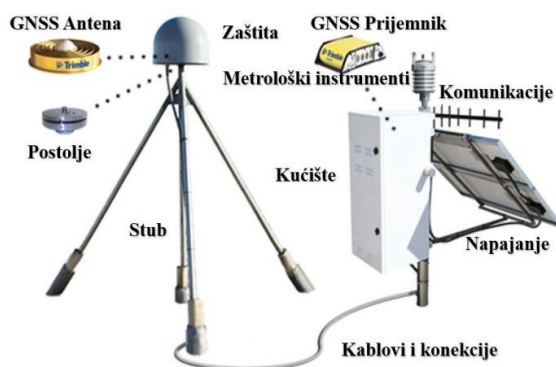
- Концепти 1D мрежа,
- Концепти 2D мрежа,
- Концепти 3D мрежа.

5.2 Основни концепти, компоненте и мреже перманентних станица

Перманентне станице оредстављају сервис за подршку примене сателитског позиционирања на одређеној територији који ради непрекидно 24 часа дневно у домену центиметарске тачности. На слици 2 су приказане основне компоненте перманентне станице.

Концепт перманентних станица даје нове погодности у односу на остале начине позиционирања у геодетском премеру:

- позиционирање високе тачности у реалном времену
- позиционирање високе тачности са накнадном обрадом
- хомогена тачност позиционирања за целу државу
- јединствена мрежа перманентних станица за целу државу
- корекције атмосферских систематских грешака у реалном времену.



Слика 2: Основне компоненте перманентне станице

5.3 Активна геодетска референтна основа Србије (AGROS)

Крајем 2005. године, Републички геодетски завод и Факултет техничких наука успостављају Активну Геодетску Референтну Основу Србије (AGROS) мрежу перманентних GNSS станица. Први контролни центар у Србији за управљање мрежом CORS станица налазио се на Факултету техничких наука у Новом Саду. Године 2010. Спроведена је кампања мерења на тачкама AGROS, неколико тачака референтне мреже Републике Србије (SREF и YUREF мреже) где је Република Србија прешла са ITRF96 на ETRF2000 координатни оквир који је и данас у употреби.

AGROS представља скуп релативно правилно распо- ређених референтних станица са прецизно одређеним координатама у конвенционалном терестричком ре- ферентном систему. На овим перманентних станица- ма врше се континуирана GNSS опажања и просле- ђују се у један или више контролних центара.

6. АНАЛИЗА ЕФИКАСНОСТИ RTK И РЕЛАТИВНЕ СТАТИЧКЕ МЕТОДЕ У ФОРМИРАЊУ GNSS МРЕЖЕ

6.1 Мерења у GNSS мрежи RTK методом

На кампусу Универзитета у Новом Саду формирали смо GNSS мрежу од 6 тачака, применом RTK методе. Као базна станица кориштена је перманентна станица Нови Сад (NN). Са дужином сесије од 30 секунди, у три епохе опажања, добијени резултати средњих вредности координата приказани су у табели 1.

Табела 1: Приказ средњих вредности координата тачака у WGS84 координатном систему

Број Тачке	X[m]	Y[m]	Z[m]
1.	4231032,982	1527405,861	4506738,174
2.	4230985,575	1527468,269	4506762,329
3.	4231055,586	1527548,687	4506669,976
4.	4231101,079	1527606,400	4506608,365
5.	4231144,095	1527549,996	4506585,754
6.	4231093,759	1527483,503	4506655,473

6.2 Мерења у GNSS мрежи релативном статичком методом

При формирању мреже користили смо стандардну статичку методу, са епохом синмања од 20 минута и

периодом скенирања од 1 секунде. Снимили смо 7 вектора између 6 тачака, и извршили процесирање у South Geomatic Office (SGO) софтверу. Као резултат процесирања добили смо текстуални фајл са координатним разликама базних вектора.

6.3 Упоредна анализа тачности и поузданости RTK и релативне статичке методе

Да би извршили квалитетно упоређивање тачности и поузданости ове две методе, упоредићемо координатне разлике вектора, са варијансама и коваријансама, као и просечне вредности RMS грешака које смо добили из Microsoft Excel фајла након завршеног снимања RTK методом, и из извештаја након процесирања базних вектора. Са циљем да што јасније сагледамо квалитет одређивања вертикалних и хоризонталних положаја обе методе, у табели 2 биће приказане стандардне девијације базних вектора, а у табели 3 ћемо упоредити координатне разлике RTK и релативне статичке методе.

Табела 2: Стандардне девијације базних вектора

Базни вектор	сп-RTK (mm)	сп-статика (mm)	Δсп (mm)
1—2	14,79422	7,539158	-7,25506
2—3	10,85490	3,324876	-7,53003
3—4	17,40626	0,579396	-16,82690
4—5	16,45823	2,907387	-13,55080
5—6	4,715459	1,680833	-3,03463
6—1	23,15710	6,485522	-16,67160
6—3	20,98931	0,337046	-20,65230

Табела 3: упоређивање координатних разлика базних вектора

Базни вектор	ΔX(RTK)- ΔX(статика)	ΔY(RTK)- ΔY(статика)	ΔZ(RTK)- ΔZ(статика)
1—2	0,025	0,064	0,022
2—3	-0,011	-0,018	0,023
3—4	-0,007	0,011	0,004
4—5	0,073	0,025	0,033
5—6	-0,019	-0,011	-0,015
6—1	-0,037	-0,036	-0,015
6—3	-0,019	0,009	-0,002

У табелама 4 и 5 даћемо приказ средних вредности RMS, HRMS и VRMS грешака за обе методе:

Табела 4: Приказ RMS, HRMS и VRMS грешака координата одређених RTK методом

Број тачке	RMS (m)	HRMS (m)	VRMS (m)
1.	0,025	0,014	0,021
2.	0,025	0,014	0,021
3.	0,026	0,014	0,021
4.	0,026	0,014	0,022
5.	0,026	0,014	0,022
6.	0,026	0,014	0,022

Табела 5: Приказ RMS, HRMS и VRMS грешака координата одређених релативном статичком методом

Базни вектор	RMS (m)	HRMS (m)	VRMS (m)
1-2	0,013	0,010	0,008
2-3	0,011	0,008	0,008
3-4	0,009	0,007	0,005
4-5	0,014	0,008	0,012
5-6	0,012	0,007	0,010
1-6	0,018	0,007	0,016
3-6	0,005	0,001	0,005

7. ЗАКЉУЧАК

На основу података у претходним табелама можемо да закључимо да RTK метода пружа брза и ефикасна мерења у GNSS мрежи са RMS вредностима од око 0.025 метара, што указује на високу укупну прецизност. Хоризонтална и вертикална прецизност су стабилне али нешто ниже у поређењу са релативном статичком методом. Значајно бољу укупну прецизност, са RMS вредностима које се крећу 0.005 до 0.018 метара, показује релативна статичка метода.

У просеку, разлика између координатних разлика добијених овим методама износи 0.006 метара, што нам говори да је RTK метода веома прецизна и поуздана за већину практичних потреба, тако да представља први избор када су нам потребна брза опажања са релативно високом тачношћу. За пројекте који захтевају високу тачност, релативна статичка метода је приоритет, иако захтева више времена и опреме.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ђогатовић М.: Алгоритми естимације стања сигнала глобалних навигационих сателитских система, Докторска дисертација, Саобраћајни факултет, Београд, 2016.
- [2] Благојевић Д.: Увод у сателитску геодезију, Грађевински факултет, Београд, 2014.
- [3] Савановић М.: Анализа могућности дефинисања и реализације државног просторног геодетског референтног система на бази глобалног терестричког референтног система, Докторска дисертација, Грађевински факултет, Београд, 2017.

Кратка биографија:



Владимир Петровић рођен је 1998. године у Зворнику. Мастер студије на Факултету техничких наука уписао је 2022. године.

Контакт: vpetrovic98@outlook.com